

TECHNICZNO-EKONOMICZNA ANALIZA EFEKTYWNOŚCI ENERGETYCZNEJ POMPOWNI MELIORACYJNYCH

Czesław Przybyła¹, Piotr Kozdrój², Jerzy Bykowski¹, Michał Napierała¹, Karol Mrozik¹

¹ Uniwersytet Przyrodniczy w Poznaniu, Instytut Melioracji, Kształtowania Środowiska i Geodezji, e-mail: czprzybyla@up.poznan.pl; jurbykos@up.poznan.pl; kmrozik@up.poznan.pl; michnap@up.poznan.pl

² Wielkopolski Zarząd Melioracji i Urządzeń Wodnych w Poznaniu, Rejonowy Oddział Leszno

STRESZCZENIE

W pracy przeprowadzono analizę efektywności energetycznej procesu eksploatacji pompowni melioracyjnych. Badaniami objęto 12 stacji pomp położonych w południowej części województwa wielkopolskiego. Wszystkie obiekty administrowane są przez Wielkopolski Zarząd Melioracji i Urządzeń Wodnych w Poznaniu, Rejonowy Oddział w Lesznie. Zgodnie z Polityką Energetyczną Polski do 2030 r., kraj jest zobowiązany do 20% wzrostu wydajności energetycznej wszystkich procesów produkcyjnych i dostaw. Z analizy jakie przeprowadzono w latach 2010–2012 wynika, że same koszty energii stanowią prawie połowę (40%) całkowitych kosztów użytkowania pompowni. Tak wysokie koszty energii elektrycznej są przede wszystkim efektem korzystania z uproszczonego jednostrefowego systemu rozliczania energii. System ten w przypadku pompowni pracujących okresowo, wydaje się być z uwagi na małą efektywność niezasadny. Powodem tego stanu jest brak wystarczającej analizy zapotrzebowania na energię. Zmiana sposobu jej rozliczania, a następnie przejście na taryfę niskiej mocy zamówionej C11/C12 mogą skutkować kilkudziesięcioprocentowymi oszczędnościami. Przykładowo zmiana taryfy z C21 na C12a w pompowni Wonieść w 2011 r. spowodowała obniżenie jednostkowych kosztów zużycia energii elektrycznej niemal dwukrotnie. Przeprowadzona w pracy analiza efektywności energetycznej pompowni melioracyjnych wskazuje na potrzebę wprowadzenia do bieżącego monitoringu ciągłej rejestracji opadów oraz kontroli poziomu zwierciadła wody dopływającej jak i poziomu wody w odbiorniku. Otrzymane w ten sposób informacje (z określonym wyprzedzeniem) pozwoliłyby zaplanować bardziej optymalną pracę pompowni.

Słowa kluczowe: pompownie melioracyjne, polder, efektywność energetyczna.

TECHNO-ECONOMIC ANALYSIS OF THE OF LAND RECLAMATION PUMPING STATIONS' ENERGY EFFICIENCY

ABSTRACT

The energy efficiency of the operation and maintenance of land reclamation pumping stations were conducted at this paper. The study included 12 pump stations located in the southern part of the region of Wielkopolska. All objects are administered by the Great Poland of Land Melioration and Water Units Board in Poznan, District Branch in Leszno. It was found that the work of half of the analyzed pumps is very expensive, and maintenance cost incomparable

to the results achieved. Operating costs of the analyzed drainage pumping stations account for 86% of total operating costs, of which 40% is energy cost, and the remaining 14% to the upkeep. Small relative time of operating pumps for levee and channel pumping stations indicates a for a leap of work, which proves their inefficient use. The use of a larger number of pumps with less power would preserve the continuity and stability of their work.

Keywords: land reclamation pumping stations, polder, energy efficiency.

WPROWADZENIE

Zobowiązania Polski wobec Unii Europejskiej jakie stawia się w zakresie polityki energetycznej wymagają od nas realizacji planu klimatyczno-energetycznego $3 \times 20\%$ do 2030 r. [10]. Zgodnie z tymi założeniami Polska dąży do:

- redukcji zużycia energii i poprawy efektywności energetycznej wszelkich procesów o 20%,
- wzrostu udziału odnawialnych źródeł energii w całej produkcji energii elektrycznej o 20%,
- ograniczenia emisji CO₂ o 20%.

Znaczący udział w tej kwestii ma transport cieczy, który w każdej gospodarce pochłania znaczne ilości energii elektrycznej, oceniane na 20–30% całej produkcji energii elektrycznej [4]. W tym zakresie dostrzegalny jest ogromny potencjał zasobów energetycznych mogących być efektem poprawy efektywności energetycznej istniejących układów pompowych. Szacuje się, że w Polsce jest to ok. 29–30 mld kWh/rok i odpowiadająca tej liczbie redukcja emisji CO₂ o 35 mln ton rocznie [5]. Sens zmniejszenia energochłonności procesów transportu cieczy jest więc oczywisty. W pracy podjęto kwestię możliwości poprawy efektywności energetycznej pompowni niskich wysokości podnoszenia do jakich należą także pompownie melioracyjne i przeciwpowodziowe [1].

CEL, ZAKRES I METODYKA PRACY

Celem pracy była analiza efektywności energetycznej pompowni melioracyjnych administrowanych przez Wielkopolski Zarząd Melioracji i Urządzeń Wodnych (WZMiUW) w Poznaniu – Rejonowy Oddział w Lesznie. Z uwagi na znaczące środki przeznaczane każdego roku na utrzymanie w pełnej sprawności technicznej pompowni melioracyjnych, zasadnym jest określenie sposobu ich racjonalnego wykorzystania. Analizowano 3-letni okres eksploatacji urządzeń (2010, 2011 i 2012) na podstawie następujących informacji:

- dokumentacji i specyfikacji technicznych,
- danych z monitoringu GPRS pompowni,
- faktur VAT za energię elektryczną,

- danych ewidencyjnych WZMiUW w Poznaniu, RO Leszno,
- aktualnych taryf oraz umów sprzedaży i dystrybucji energii elektrycznej.

Na ich podstawie przeanalizowano techniczno-ekonomiczny aspekt pracy pompowni, wskazano istniejące problemy oraz wskazano możliwości i kierunki zmian mających na celu poprawę stanu istniejącego. Przeanalizowano koszty zużycia energii elektrycznej, opłat stałych i zmiennych oraz pozostałe koszty eksploatacji. Punktem wyjścia niniejszej analizy było zestawienie miesięcznych kosztów zużycia energii dla poszczególnych pompowni na podstawie faktur VAT oraz wyznaczenie współczynnika jednostkowego kosztu energii (K_{ej}) wg. wzoru (1).

$$K_{ej} = \sum_{i=1}^{i=m} \frac{K_c}{E_c} \quad [\text{zł/kWh}] \quad (1)$$

gdzie: K_{ej} – jednostkowy koszt zużycia energii w ciągu roku [zł/kWh],
 K_c – miesięczne całkowite koszty energii brutto [zł],
 E_c – całkowite zużycie energii w danym miesiącu [kWh],
 i – 1...12 miesiąc użytkowania pompowni,
 m – kolejny miesiąc użytkowania pompowni.

Jednostkowy koszt zużycia energii (K_{ej}) stanowi iloraz kosztów całkowitych (K_c) oraz ilości zużytej energii (E_c). Koszty całkowite energii (E) są natomiast sumą opłat stałych oraz kosztów zmiennych, zależnych od bieżącego zużycia oraz danej taryfy, co opisuje wzór (2).

$$E = A + (B \cdot x \text{ kWh}) + (C \cdot x \text{ kW}) \quad [\text{zł/kWh}] \quad (2)$$

gdzie: A – koszty stałe niezależne od ilości zużytej energii oraz mocy zamówionej,
 B – koszty zmienne zależne od ilości zużytej energii czynnej,
 C – koszty stałe zależne od ilości mocy zamówionej.

W powyższym wzorze nie uwzględniono natomiast innych kosztów jakie mogą wystąpić na skutek nieprawidłowej pracy. Są to opłaty za ponad miarowy pobór mocy oraz koszty kompensacji mocy biernej (dotyczy tylko taryf B). Z uwagi na błędy w odczytach monitoringu GPRS liczba dni pracy pomp (T_p) na poszczególnych pompowniach określono szacunkowo za pomocą wzoru (3).

$$T_p = \sum_{i=1}^{i=m} \frac{E_c}{P_{znam}} \quad [h] \quad (3)$$

gdzie: T_p – liczba dni pracy pomp w ciągu roku [h],
 E_c – całkowite zużycie energii w danym miesiącu [kWh],
 P_{znam} – moc znamionowa pojedynczego agregatu pompowego [kW],
 i = 1, ..., 12 – miesiąc użytkowania pompowni,
 m – kolejny miesiąc użytkowania pompowni.

OGÓLNA CHARAKTERYSTYKA OBSZARU BADAŃ

Wielkopolski Zarząd Melioracji i Urządzeń Wodnych w Poznaniu, Rejonowy Oddział (RO) w Lesznie jest administratorem dwunastu pompowni melioracyjnych. Stanowi to 24% ich ilościowego stanu ewidencyjnego wszystkich pompowni eksploatowanych przez WZMiUW w Poznaniu i 13% ogólnej powierzchni odwadnianej. Na terenie administrowanym przez RO Leszno znajduje się łącznie 158 tys. ha użytków rolnych, z czego 25 tys. ha to trwale użytki zielone (TUZ) – głównie łąki. Z uwagi na częstotliwość wystąpienia lokalnych podtopień, 31% TUZ (7 769 ha) można użytkować tylko dzięki pracy pompowni i utrzymaniu w technicznej sprawności sieci rowów i kanałów melioracyjnych oraz wałów przeciwpowodziowych chroniących te obszary przed podtopieniami. Dzięki możliwości mechanicznego odwadniania w zdecydowanie szybszym terminie można przystąpić do prac agrotechnicznych i w efekcie końcowym uzyskać wyższe plony [3]. Infrastruktura techniczna, w tym także różne typy pompowni melioracyjnych, mają podstawowe znaczenie dla rozwoju terenów wiejskich, modernizacji i wzrostu produkcji rolnej, kształtowania wielofunkcyjnego charakteru wsi oraz warunków życia jej mieszkańców [9]. Podział analizowanych pompowni ze względu na ich typy wraz z podstawowymi danymi eksploatacyjnymi zestawiono w tabeli 1, natomiast ich lokalizację na rysunku 1.

Trzeba zauważyć, że inwestycje infrastrukturalne na obszarach wiejskich przeprowadzane są w warunkach ograniczonych możliwości finansowych państwa, co musi znaleźć wyraz w programowaniu tych przedsięwzięć [11]. Dlatego też w latach 2010

Tabela 1. Typy pompowni melioracyjnych wraz z ich podstawowymi danymi

Typ	Nazwa	Obszar odwadniany F _p [ha]	Liczba pomp [szt.]	Wydajność Q _j [m ³ /s]	Moc P _j [kW]	Taryfa*
Korytowe	Zakrzewo	250	2	0,50	18,0	B21
	Zbęchy	342	2	0,50	18,0	C11
	Ratowice	30	2	0,06	7,6	C21
Okolo- zbiornikowe	Drzeczkowo	133	3	0,35	18,0	C11
	Wonieść	45	2	0,35	18,0	C12a
	Wojnowice	144	2	0,35	18,0	B21
	Kąty	292	4	0,35	18,0	B21
Wałowe	Warszewo	2 010	5	0,50	32,0	C21
	Izbice	620	2	0,50	18,0	C11
	Niełęgowo	1 383	4	0,50	32,0	B21
	Janiszewo	520	3	0,40	32,0	B21
	Tarnowa łąka	2 000	4	0,50	32,0	B21

* Rozporządzenie Ministra Gospodarki, z dnia 18 sierpnia 2011 r. w sprawie szczegółowych zasad kształtowania i kalkulacji taryf oraz rozliczeń w obrocie energią elektryczną (Dz. U. z 2011 r. Nr 189, poz. 1126 z późn. zm.), zwanego dalej „rozporządzeniem taryfowym”.



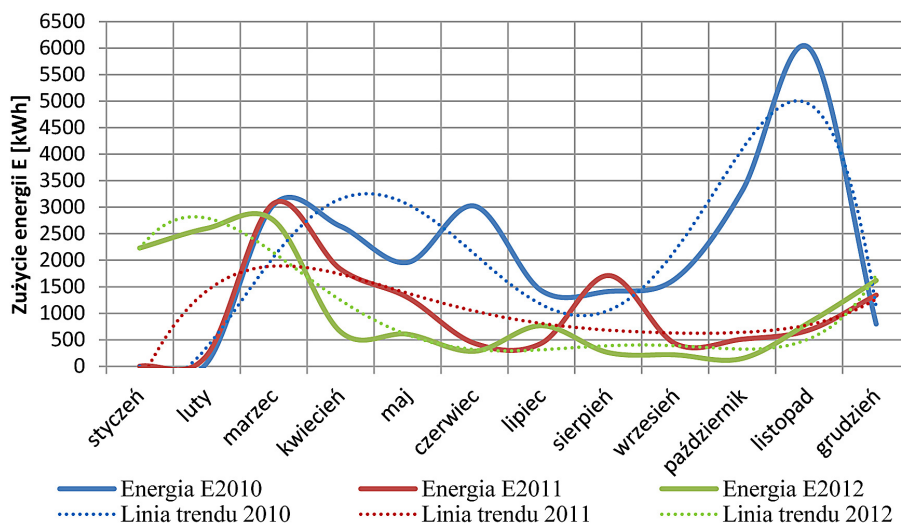
Rys. 1. Pompownie polderowe na tle RO Leszno

– 2011 Rejonowy Oddział Leszno Wielkopolskiego Zarządu Melioracji i Urzędzeń Wodnych w Poznaniu przeprowadził gruntowaną modernizację pompowni melioracyjnych. W pierwszej kolejności w roku 2010 dokonano modernizacji pompowni Zbęchy w gm. Krzywin, Zakrzewo w gm. Miejska Górka oraz Izbice w gm. Rawicz. Następnie w roku 2011 zmodernizowano pozostałe obiekty w ramach „Modernizacji pompowni melioracyjnych w dolinie Kościańskiego Kanalu Obry” oraz „Modernizacji pompowni melioracyjnych w dolinie Rowu Polskiego i rzeki MasłóWKi”. Ponadto we wszystkich obiektach w ramach warunków zamówienia wykonano termomodernizację wnętrza hali pomp, wprowadzono ogrzewanie elektryczne oraz założono płytki ceramiczne na podłogach i ścianach, zainstalowano instalacje wodno-kanalizacyjne wraz z sanitariatami i umywalkami oraz wymieniono stolarkę okienną.

WYNIKI BADAŃ

Ściśle uzależniona od warunków hydrometeorologicznych praca pompowni melioracyjnych powoduje znaczące utrudnienia w planowaniu wydatków na funkcjonowanie tych obiektów. Szczególnie jest to widoczne przy zawieraniu umów z dostawcą energii, gdzie z wyprzedzeniem należy zadeklarować przewidywane zużycie. Na obecną chwilę poważny problem dla użytkownika pompowni melioracyjnych stanowi brak możliwości zmiany warunków umowy z dostawcą energii w trakcie jej trwania. Wiąże się to z ponoszeniem dodatkowych kosztów i to zarówno wtedy, kiedy planowane

zużycie energii przekracza wartość mocy zamówionej, jak i w przypadku niepełnego jej wykorzystania. Analizując przeciętne zużycie energii w poszczególnych miesiącach analizowanego okresu 2010–2012, można dostrzec dość stały trend zużycia energii w marcu oraz na przełomie lipca i sierpnia (rys. 2). Natomiast w pozostałych miesiącach podobny trend obserwuje się już tylko dla lat 2011–2012, które wg. Kaczorowskiej [6] określono jako suchy i przeciętny pod względem rocznej sumy opadów. Jedynie w przypadku 2010 roku określonego jako bardzo mokry, zużycie energii było znacznie większe i bardziej zróżnicowane czasowo.



Rys. 2. Przeciętne zużycie energii elektrycznej we wszystkich pompowniach melioracyjnych, w poszczególnych miesiącach badanego okresu 2010–2012, wraz z oznaczonym trendem zmienności na podstawie równań wielomianu 5°

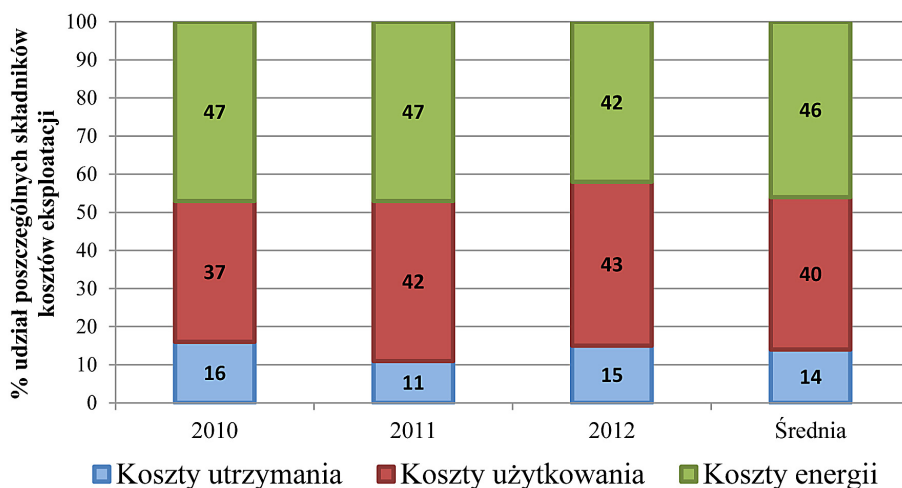
W analizowanym okresie 2010–2012, badane obiekty charakteryzowały się bardzo dużym zróżnicowaniem kosztów jednostkowych energii elektrycznej (K_{je}). Określone w oparciu o równanie (1) koszty jednostkowe energii elektrycznej zestawiono w tabeli 2.

Tylko 5 pompowni: Kąty, Drzeczkowo, Wojnowice, Wonieść, Niełęgowo można uznać za ekonomicznie efektywne (tab. 2). Ich średni jednostkowy koszt energii elektrycznej był w badanym okresie niższy od 0,85 zł/kWh. W analizowanych latach 2010 – 2012 zakupiono łącznie 1 097 638 kWh za kwotę 887 623 zł, ze średnią ceną jednostkową 0,81 zł/kWh. Można szacować, że 80% tej sumy zostało przeznaczone na potrzeby odwodnienia, natomiast pozostała część na inne cele obsługowe pompowni (ogrzewanie, ścieki itp.). Udział ogólnych kosztów eksploatacji pompowni zestawiono na rysunku 2.

W przypadku pompowni: Zakrzewo, Zbęchy, Ratowice, Tarnowa Łąka wysoki udział kosztów energii elektrycznej wynikają przede wszystkim z drogich, przemysłowych taryf C21, B21, B11 oraz wysokich wartości mocy zamówionych. Na szczególną

Tabela 2. Jednostkowe koszty energii elektrycznej (K_{je}) oraz czas pompowania (T_p), w badanym okresie 2010–2012, na poszczególnych pompowniach melioracyjnych

Nazwa pompowni	2010		2011		2012		Średnia	
	K_{je} [zł/kWh]	T_p [h]	K_{je} [zł/kWh]	T_p [h]	K_{je} [zł/kWh]	T_p [h]	K_{je} [zł/kWh]	T_p [h]
Zakrzewo	1,72	360	3,70	168	9,75	72	5,06	200
Zbęchy	0,84	1128	0,99	432	3,27	192	1,70	584
Ratowice	1,03	264	0,80	576	1,99	96	1,27	312
Drzeczkowo	0,54	1704	0,61	1272	0,70	696	0,62	1224
Wonieść	1,21	960	0,60	720	0,67	528	0,82	736
Wojnowice	0,56	3240	0,75	1848	0,75	1872	0,69	2320
Kąty	0,58	5064	0,55	2400	0,82	432	0,65	2632
Warszewo	0,64	2208	0,86	840	1,07	192	0,86	1080
Izbice	0,68	984	1,23	192	0,90	432	0,94	536
Nielegowo	0,60	3984	0,98	1848	0,88	672	0,82	2168
Janiszewo	0,83	1200	1,00	816	1,97	144	1,27	720
Tarnowa łąka	1,01	1008	1,21	576	1,27	336	1,16	640

**Rys. 3.** Struktura całkowitych kosztów eksploatacji analizowanych 12 pompowni w latach 2010–2012

uwagę zwraca fakt, że pewne zachowanie ciągłości pracy i stałego reżimu dopływu pompowni okołozbiornikowych sprawia, że eksploatacja tego rodzaju obiektów jest bardziej oszczędna niż pozostałych pompowni. Wpływ na całkowitą wartość jednostkową kosztu energii ma także ogólny czas pracy pompowni, gdy jest on dłuższy, koszty jednostkowe energii są mniejsze.

DYSKUSJA I WNIOSKI

W pracy podjęto bardzo ważny problem wykorzystania możliwości poprawy efektywności energetycznej pompowni melioracyjnych. Szacuje się, że w układach pompowych potencjał wzrostu efektywności energetycznej może nawet sięgać 40% dotychczasowego poziomu zużycia energii, przy średniej żywotności pomp wynoszącej 15–20 lat [1].

W przypadku pompowni melioracyjnych przyjmuje się, że okres eksploatacji technicznej agregatów pompowych o wydajności do 10 m³/s wynosi 20 lat, zaś agregatów pompowych o wydajności 10–50 m³/s 25 lat [9]. Specyfika sezonowej pracy tych urządzeń powoduje, że agregaty te pracują w rzeczywistości znacznie dłużej niż się przewiduje. Jest to przede wszystkim wynikiem zróżnicowanego poziomu dopływów do pompowni będących efektem transformacji opadu rzeczywistego w spływ powierzchniowy [8]. Jednak dłuższy czasokres eksploatacji wpływa na stopniowo pogarszający się stan technologiczny, gdyż pompy jak każde inne maszyny podlegają również zużyciu ekonomicznemu [7]. Gorsze parametry technologiczne agregatów pompowych generują natomiast zwiększone nakłady energetyczne. Dlatego też ważne jest monitorowanie sprawności układu pompowego, oraz podejmowanie na ich podstawie niezbędnych działań modernizacyjnych.

Na podstawie analiz przeprowadzonych dla lat 2010–2012 dla pompowni eksploatowanych przez Wielkopolski Zarząd melioracji i Urzędzeń Wodnych w Poznaniu Rejonowy Oddział w Lesznie, sformułowano następujące wnioski:

1. Pompownie melioracyjne ze względu na specyfikę pracy charakteryzują się bardzo dużą różnorodnością i wymagają indywidualnej analizy. Pompownie Zbęchy i Zakrzewo charakteryzujące się szczególnie wysoką ceną jednostkową energii elektrycznej, przy niewielkim zużyciu, wskazują na konieczność optymalizacji kosztów.
2. Praca połowy z analizowanych pompowni jest bardzo kosztowna, a koszty utrzymania niewspółmierne do osiągniętych efektów. Pompownie Kąty, Drzeczkowo i Wonieść można zaliczyć do eksploatowanych w efektywny sposób.
3. Koszty użytkowania wszystkich pompowni melioracyjnych administrowanych przez RO Leszno stanowią 86% całkowitych kosztów eksploatacji, z tego 40% to koszty energii elektrycznej, a pozostałe 14% to koszty utrzymania.
4. Wysokie koszty utrzymania wynikają przede wszystkim z drogich, przemysłowych taryf B21 i C21, oraz włączenia bezpośredniego do sieci średniego napięcia. Zmiana sposobu przyłączenia do sieci, a następnie przejście na taryfę niskiej mocy zamówionej C11/C12 umożliwi kilkudziesięcioprocentowe oszczędności. Działania takie dobrze ilustruje pompownia Wonieść, dla której w roku 2011 przeprowadzono zmianę taryfy z C21 na C12a, w wyniku której cena jednostkowa energii elektrycznej obniżono prawie dwukrotnie. Analizując wyniki pracy pompowni, celowym wydaje się aneksowanie umów z dostawcą energii.

5. Niewielki względny czas pracy pomp dla pompowni polderowych i korytowych wskazuje na skokowy, a więc nieefektywny charakter ich pracy. Zastosowanie większej liczby pomp o mniejszej mocy umożliwiłoby zachowanie ciągłości i większej stabilności ich pracy.

LITERATURA

1. Barbarulo R. 2006. Inicjatywy Europump i Amerykańskiego Instytutu Hydrauliki. XII Forum Użytkowników Pomp, Ustroń, mater. konfer., 13–25.
2. Construction Information Service (CIS). 1992. Design of low-lift pumping stations with particular application to pumping wastewater. CIRIA London. Raport no 123.
3. Szymański J., Kostrzewa S. 1986. Odwodnienie użytków rolnych. [W:] P. Prochal (red.) Podstawy melioracji rolnych. PWRiL, t. 1, 321–323.
4. Jędral W. 2007. Efektywność energetyczna pomp i instalacji pompowych. Wyd. KAPE. Warszawa, ss. 99.
5. Jędral W. 2007. Metody zwiększenia efektywności energetycznej pompowania cieczy. Zrównoważony rozwój a efektywność energetyczna. Rynek Instalacyjny nr 11;
6. Kaczorowska Z. 1962. Najsuchsze i najwilgotniejsze pory roku w Polsce w okresie 1900–1959. Prz. Geof., 7/15, 3.
7. Legutko S. 2007. Eksploatacja maszyn. Wydawnictwo Politechniki Poznańskiej.
8. Licznar P., Łomotowski J., Rojek M. 2005. Pomiary i przetwarzanie danych opadowych dla potrzeb projektowania i eksploatacji systemów odwodnieniowych. Wyd. FUTURA, Poznań.
9. Marcilonek S. 1994. Eksploatacja urządzeń melioracyjnych. Wyd. Akademii Rolniczej we Wrocławiu, ss. 291.
10. Ministerstwo Gospodarki 2009. Polityka energetyczna Polski do 2030 roku. Załącznik do uchwały nr 202/2009 Rady Ministrów Z dnia 10 listopada 2009 r., ss. 29.
11. Siniecki C. 2012. Dotacje warunkują nasze działania. Wielkopolski Biuletyn Ekologiczny. Wyd. Fundacja Biblioteka Ekologiczna Poznań, nr 4, 3–4.